

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. Oktober 2002 (24.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/084902 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H04B 10/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/01383

(22) Internationales Anmeldedatum:  
12. April 2002 (12.04.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
101 18 335.6 12. April 2001 (12.04.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): TESAT-SPACECOM GMBH & CO. KG [DE/DE];  
71501 Backnang (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HILDEBRAND, Ul-  
rich [DE/DE]; Dahlienweg 2, 70736 Fellbach (DE).

(74) Anwälte: SCHUSTER, Gregor usw.; Wiederholdstr. 10,  
70174 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,  
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,  
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,  
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),  
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,  
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),  
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DEVICE AND SYSTEM FOR THE OPTICAL TRANSMISSION OF DATA BETWEEN SATELLITES

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND EINE ANLAGE ZUR OPTISCHEN ÜBERTRANGUNG VON DATEN ZWISCHEN  
SATELLITEN

(57) Abstract: The invention relates to a device and a system for the optical transmission of data between satellites. Said device comprises a laser oscillator (10) for producing an optical signal, a modulator (11) for modulating the optical signal with data information, an amplifying unit, a collimator unit, and a transmission unit for transmitting the signals. According to the invention, a pre-amplifier (12) is connected to a power dividing stage (13). A parallel circuit of at least two phase regulators (14) and two main amplifiers (15) connected in series, for amplifying and regulating the optical signals, is connected downstream from said power dividing stage. The main amplifiers (15) are connected to the corresponding number of collimators (17) by means of a bundle of optical waveguides which corresponds to the number of connections in series.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und eine Anlage zur Übertragung von optischen Daten zwischen Satelliten, die einen Laser-Oszillator (10) zur Erzeugung eines optischen Signals, einen Modulator (11) zur Modulierung des optischen Signals mit einer Dateninformation und eine Verstärkeranordnung, eine Kollimatoranordnung und eine Sendeeinrichtung zur Übertragung der Signale umfasst. Es ist vorgesehen, dass ein Vorverstärker (12) mit einer Leistungsteilerstufe (13) verbunden ist, der eine Parallelschaltung von wenigstens zwei jeweils in Reihe geschalteten Phasenstellern (14) und Hauptverstärkern (15), zur Verstärkung und Einstellung der optischen Signale, nachgeschaltet ist und die Hauptverstärker (15) über ein der Anzahl der Reihenschaltung entsprechendes Bündel (16) von optischen Wellenleitungen mit der entsprechenden Anzahl der Kollimatoren (17) verbunden sind.

WO 02/084902 A2

## Vorrichtung und eine Anlage zur optischen Übertragung von Daten zwischen Satelliten

### Stand der Technik

Es ist bekannt, für die optische Freiraumübertragung zwischen Satelliten, optische Hochleistungssender zu verwenden. Ein an sich bekanntes Sendesystem zur optischen Übertragung von Daten zwischen Satelliten ist in der Figur 1 dargestellt. Dabei liefert ein Laser-Oszillator 1 ein optisches Signal, konstanter Leistung und Frequenz, mit kleiner spektraler Breite. Der folgende elektro-optische Modulator 2 prägt dem Signal die Dateninformation auf. Die Modulation zur Aufprägung der zu übertragenden Daten auf das optische Signal kann entweder über eine Amplitudenmodulation oder über eine der verschiedenen Phasenmodulationen (PSK) erfolgen.

Das so erzeugte optische Signal wird einem ersten optischen Vorverstärker 3 zugeführt. In dem als Faserverstärker ausgebildeten Vorverstärker 3 wird die optische Leistung des Signals auf einen Pegel von typisch einem Watt erhöht. Durch einen nachgeschalteten Kristallverstärker 4, wird das optische Signal auf einen für die Übertragung notwendigen hohen optischen Pegel verstärkt. Die Leistungsstufe der Verstärkerkette ist fasergekoppelt ausgeführt, um die Strahlen mit Hilfe der Faser 5 über eine größere Entfernung zur abgesetzten optischen Einheit zu führen. Vom Laser-Oszillator 1 und bis zum Kollimator 6, wird das optische Signal in einer Faser 5 geführt. Alle Fasern 5 im System sind polarisationserhaltend. Über dem Kollimator 6, wird der optische Strahl über eine optionale Sende- und Empfangsweiche 7 und die Verstellspiegel 8 zur Strahlausrichtung zum Spiegelteleskop 9 geführt und von dort zur Gegenstation gesendet.

Nachteilig bei dieser Vorrichtung zur optischen Übertragung von Daten ist, dass für Systeme mit sehr hoher Sendeleistung die Anforderungen in die Signaltrennung zwischen Sende- und Empfangspfad so groß werden, dass man sie innerhalb eines gemeinsamen optischen Pfades nicht mehr beherrschen kann. Dann ist es erforderlich, die beiden Pfade komplett zu trennen; das heißt ein eigenes Teleskop 9 für Sender und Empfänger zu verwenden. In diesem Falle entfällt zwar die Sende- und Empfangsweiche 7, aber durch den Einsatz eines zusätzlichen Spiegelteleskops 9 werden insgesamt die Kosten der Anlage erheblich erhöht.

## Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur optischen Übertragung von Daten zwischen Satelliten mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen bietet demgegenüber den Vorteil, dass große Datenraten über sehr große Entfernungen übertragen werden können. Die Datenraten können dabei bis zu 10 Gbit/s betragen und bis zu 90000 km bei einer Verbindung von zwei Satelliten auf geostationärer Bahn übertragen werden. Dadurch, dass ein Vorverstärker mit einer Leistungsteilerstufe verbunden ist, der eine Parallelschaltung von wenigstens zwei jeweils in Reihe geschalteten Phasenstellern und Hauptverstärkern, zur Verstärkung und Einstellung der optischen Signale, nachgeschaltet ist und die Hauptverstärker über ein der Anzahl der Reihenschaltungen entsprechendes Bündel von optischen Wellenleitern mit der entsprechenden Anzahl der Kollimatoren verbunden ist, wird vorteilhaft erreicht, dass die Ausgangsleistung zur Übertragung einer Datenrate bis zu 10 Gbit/s auf eine erforderliche Größenordnung von ca. 10 W verstärkt wird, ohne dass dabei die Leistung des Verstärkers erhöht werden muss. Durch die Parallelschaltung von beliebig vielen gleichen Verstärkern, können sehr hohe optische Ausgangsleistungen realisiert werden. Es ist kein Spezialverstärker für hohe Ausgangsleistungen notwendig, sondern es können Geräte mittlerer Leistung zur optischen Übertragung der Daten verwendet werden. Durch die Parallelschaltung der einzelnen Verstärker wird insgesamt ein sehr hoher Wirkungsgrad der Verstärkereinheit erzielt.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung besteht darin, dass durch die Führung der optischen Signale in Fasern das gesamte System flexibler gestaltet werden kann. Die optische Leistung in jeder

einzelnen Faser ist moderat. Die optischen Leistungsdichten bei der Verwendung eines einzelnen Verstärkers beziehungsweise bei einer Kaskade von Verstärkern sind wesentlich schwieriger zu beherrschen. Weiterhin wird durch die Parallelschaltung der Sendeverstärker die Systemzuverlässigkeit der Anlage erhöht. Der Ausfall einer Stufe führt nicht zwangsläufig, wie bei einer Kette, zum Totalverlust des Gesamtsystems, sondern erlaubt noch einen Betrieb mit verminderter Leistungsfähigkeit.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist den jeweiligen Phasenstellern eine Phasenregleinheit zugeordnet. Dadurch wird einerseits die optische Phase unabhängig von der optischen Intensität gemessen und stabilisiert. Andererseits erfolgt durch die Phasenregleinheit eine Anpassung der Vorrichtung als Sende- oder Backeneinheit. Dabei ist zur Übertragung sehr großer Datenraten zwangsläufig ein starker, scharfgebündelter Sendestrahл erforderlich. Für die Such- und Erfassungsphase sind die Anforderungen eher umgekehrt. Der Strahl könnte etwas mehr aufgeweitet werden, da für diese Phase die zu übertragende Bandbreite nicht so groß ist und damit die Leistung am Empfänger stark reduziert werden kann. Durch die erfindungsgemäße Phasenregleinheit erfolgt eine kontinuierliche Aufweitung des Sendestrahls bis zum etwa 10-fachen des nominellen Sendestrahls. Das Verhältnis von minimaler zu maximaler Strahlöffnung hängt von der Auslegung des Systems und insbesondere von der Anzahl der Einzelsender ab. Durch die vergrößerte Sendekeule vereinfachen sich die Suchalgorithmen.

Gemäß der erfindungsgemäßen Anlage zur optischen Übertragung von Daten zwischen Satelliten mit den im Anspruch 19 genannten

Merkmale ist vorgesehen, dass wenigstens zwei erfindungsgemäße Anlagen in den Satelliten vorhanden sind.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

### **Zeichnungen**

Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine schematische Ansicht einer Vorrichtung zur optischen Übertragung von Daten entsprechend dem bekannten Stand der Technik;
- Figur 2 eine schematische Ansicht einer Vorrichtung zur optischen Übertragung von Daten entsprechend der erfindungsgemäßen Lösung;
- Figur 3 eine Variante der erfindungsgemäßen Lösung als Einzelheit;
- Figur 4 eine Einzelheit der erfindungsgemäßen Lösung und
- Figur 5 eine Variante gemäß Figur 4.

## **Beschreibung des Ausführungsbeispiels**

In Figur 2 ist die schematische Ansicht einer Vorrichtung zur optischen Übertragung von Daten zwischen Satelliten als Blockschaltbild dargestellt. Die ersten Stufen des Hochleistungssenders zur optischen Übertragung von Daten bestehen aus einem an sich bekannten Laser-Oszillator 10, zur Erzeugung eines optischen Signals mit konstanter Leistung und Frequenz und mit kleiner spektraler Breite, und einem elektro-optischen Modulator 11, mit dem die zu übertragenden Daten auf das optische Signal moduliert werden. Ein dem Modulator 11 nachgeordneter optischer Vorverstärker 12 erhöht die optische Leistung des Signals, um die Verluste in den anschließenden Strahlungsformungsstufen auszugleichen und für die später näher erläuterten Hauptverstärker 15 eine ausreichende Eingangsleistung zu gewährleisten. Das nachfolgend eingehend beschriebene erfindungsgemäß verstärkte und eingestellte optische Signal wird in an sich bekannter Weise über eine sende- und Empfangsweiche 19 und einen Verstellspiegel 20 einem Spiegelteleskop 21 zur Übertragung zugeleitet.

Erfindungsgemäß gelangt das mit den zu übertragenden Daten modulierte optische Signal vom Vorverstärker 12 zu einer Strahlungsformungseinheit. Die Strahlungsformungseinheit besteht aus einer Leistungsteilerstufe 13 und mehreren parallel angeordneten Phasenstellern 14. In einer weiteren Stufe wird das aus den Phasenstellern 14 kommende optische Signal mittels eines den jeweiligen Phasenstellern 14 nachgeordneten Hauptverstärkers 15 verstärkt. Mit den Phasenstellern 14 erfolgt eine beliebige Einstellung der Phasenlagen der einzelnen optischen Strahlen. Die Einstellung

und Regelung der Phasenlagen über den Phasensteller 14 wird an späterer Stelle ausführlicher dargelegt.

Die Leistungsteilerstufe 13 kann als Baum von polarisationserhaltenden Wellenleiterkopplern ausgeführt werden. Entsprechend dieser Variante wird die Leistungsverteilerstufe 13 über Faserkabel entsprechend dem Baum 16 mit den nachfolgenden parallel angeordneten Phasenstellern 14 und Hauptverstärker 15 eingesetzt werden.

Eine Variante der Ausbildung der Leistungsteilerstufe 13 mit Phasensteller 14 kombiniert ist in Figur 3 dargestellt. Hier wird die Leistung im Freistrahlfeld aufgeteilt und dann direkt in die Phasenstellerbank 33 eingekoppelt. Der Leistungsteiler 13 mit Phasensteller 14 besteht aus einem Kollimator 30, einem stark anamorphotischen Teleskop 31 und einer entsprechenden Linsenanordnung 32, dass die Leistung in die Phasenstellerbank 33 einkoppelt. Die Leistungsteilerstufe 13 ist eingangsseitig über eine Glasfaser 29 mit dem Vorverstärker 12 und der Phasensteller 14 ausgangsseitig über entsprechende Glasfasern 34 mit den jeweiligen Hauptverstärkern 15 verbunden.

Die Phasenstellerbank 33 ist entweder monolithisch ausgeführt, das heißt. Dass alle Wellenleiter mit ihren Elektroden auf einer Kristallscheibe aus Lithium-Niobat angeordnet sind, oder die Phasenstellerbank 33 ist modular aufgebaut, bei der jeweils einzelne Modulatoren vorhanden sind.

Die der Leistungsteilerstufe 13 (parallel) nachgeschalteten Phasensteller 14 bestehen jeweils aus einem elektro-optischen



Modulator. Der elektro-optische Modulator verstellt in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung die optische Dichte und damit die Phase des optischen Signals. Wenn dieser Modulator als Wellenleitermodulator ausgeführt wird, können Bandbreiten bis zu mehreren GHz realisiert werden. Das hat zur Folge, dass in der Empfangsstation der Sendestrahl in der Such- und Erfassungsphase besser erkannt werden kann. Die Leistung der Empfangsstation kann dadurch wesentlich reduziert werden. Die Phasenstellerbank kann dabei ebenfalls wieder monolithisch oder modular ausgeführt werden.

Wenn kleine Bandbreiten von nur einigen kHz für die Phasenverstellung ausreichend sind, wird als entsprechender Phasensteller 14 jeweils eine Glasfaser um einen Piezokern gewickelt. Eine angelegte Spannung ändert den Durchmesser des Piezokerns und damit auch die Länge der Faser beziehungsweise die Laufzeit in der Faser, wodurch die Phase des optischen Signals verstellt wird.

Die im Phasensteller 14 vorgenommene Phasensteuerung ermöglicht die Einstellung von verschiedenen Abstrahlwinkeln in Bezug auf die optische Achse des Spiegelteleskops 21. Diese Möglichkeit kann zur Einstellung von Vorhalte- oder Nachführwinkeln verwendet werden. Da die Verstellung ohne bewegte Massen erfolgt, sind sehr große Winkelgeschwindigkeiten beziehungsweise Bandbreiten möglich.

Das optische Signal gelangt über den Faserkabelbaum 16 von den Phasenstellern 14 zu einem der Phasenstellern 14 jeweilig nachgeordneten Hauptverstärker 15. Durch die optischen Hauptverstärker 15 wird für jeden Kanal die Leistung des Signals auf eine Höhe von ca. 0,5 W erhöht. Die Ausgangsleistung der optischen

Hauptverstärker 15 wird überwacht und kann den Anforderungen angepasst werden. Der Hauptverstärker 15 ist als ein entsprechender Faserverstärker ausgebildet.

Vom Hauptverstärker 15 gelangt das verstärkte optische Signal über den Faserkabelbaum 16 zu den Kollimatoren 17 für die Sub-Aperturen 39. Die Strahlen aus den einzelnen Kollimatoren 17 müssen exakt parallel aufeinander ausgerichtet sein. Für jede Anzahl von Einzelsendern ist eine maximale Packungsdichte anzustreben. Die Figur 4 und die Figur 5 zeigen jeweils das Schattenbild der Ausgangspupille des Kollimators 17, wobei in den einzelnen Figuren eine unterschiedliche Anzahl von Sub-Aperturen 39 dargestellt ist. Die Pupille ist durch den Rand 35 eines Primärspiegels begrenzt, der über mindestens zwei Streben 36 mit einem zentral angeordneten Spiegel 37 verbunden ist. Die Abschattungen entstehen durch die Streben 36 zum Halten des Sekundärspiegels und durch den Spiegel 37 selbst. In der verfügbaren Fläche 38 der Primärspiegels sind die Sub-Aperturen 39 angeordnet. Aus den Figuren 4 und 5 ist zu erkennen, dass für die Sub-Aperturen 39 Linsensysteme anzustreben sind, die gewissermaßen keinen Rand, das heißt, nur eine sehr dünne Fassung haben.

Die Amplitudenverteilung des Senders kann der Austrittspupille eines Siegelteleskops 21 angepasst werden. Die üblichen Abschattungen durch den Sekundärspiegel und die Haltestreben 36 und die damit verbundenen Leistungsverluste werden vermieden. Es erübrigt sich auch der Aufwand zur Unterdrückung der an diesen Stellen entstehenden Rückreflexionen.

Der aus dem Kollimator 17 austretende optische Strahl wird über einen Auskoppelteiler 18, die optionale Sende- und Empfangsweiche

19 und die Verstellspiegel 20 zum Spiegelteleskop 21 geführt und von dort zur Gegenstation gesendet.

Die Einstellung und Regelung der optischen Phasen in den Sub-Aperturen 39 erfordert eine Messung der selben. Dazu zweigt der Auskoppelteiler 18 einen Prüfstrahl, der ca. 1% des Sendestrahls entspricht, ab und leitet diesen einem Mischer 27 einer Phasenregleinheit 40 zu. Der Prüfstrahl dient zur Überwachung und Regelung der Phaseneinstellung. Dazu wird der Prüfstrahl im Mischer 27 mit einem Referenzstrahl überlagert und über ein Photodiodenfeld 28 die Phasenlage aller Sub-Aperturen 39 vermessen. Der Referenzstrahl wird am Leistungsteiler 13 abgenommen und einem Phasensteller 22 der Phasenfrequenzeinheit 40 zugeführt. Der Referenzstrahl hat also dieselbe Frequenz wie der zu vermessende Sendestrah. Im Phasensteller 22 kann die Referenzphase abgeglichen, beziehungsweise auch moduliert werden. Ein optischer Verstärker 23 sorgt für ausreichende Pegel am Photodiodenfeld 28. Die Glasfaser 25, durch die einzelne Bauteile der Phasenregleinheit 40 verbunden sind, leitet das Licht, beziehungsweise das optische Signal, zu einem Kollimator 26, der eine perfekte Phasenfront erzeugt, die über den optischen Mischer 27 auf das Photodiodenfeld 28 gelangt. Durch die Überlagerung der Einzelstrahlen mit dem Referenzstrahl kann die optische Phase als Intensität von den Photodioden des Photodiodenfeldes 28 detektiert werden. Der optische Verstärker 23 ist optional und kann bei ausreichendem Rauschabstand auf den Photodioden 28 entfallen. Das Photodiodenfeld 28 ist über einen Regler 24 mit dem Phasensteller 22 der Phasenregleinheit 40 verbunden. Ein Ausgangsanschluss des Phasenstellers 22 der Phasenregleinheit 40 ist zur Regelung und Einstellung des optischen Signals mit den jeweiligen Phasenstellern 14 der Vorrichtung zur optischen Übertragung von Daten verbunden.

Die Phasenmessung von dem Spiegelteleskop 21 erlaubt die Kompensation von allen Phasenfehlern der Komponenten davor. Dadurch reduzierten sich die Anforderungen an die thermomechanische Stabilität des gesamten optischen Systems. Die Phasenregeleinheit 40 erfüllt mehrere Aufgaben. Sie erzeugt das Signal zur Modulation der Referenzphase mit dem Phasensteller 22. Beim Einsatz einer hochfrequenten Modulation kann über die Anwendung einer elektrischen Phasenregelung die optische Phase unabhängig von der optischen Intensität gemessen und damit stabilisiert werden.

Für die Phaseneinstellung sind drei Betriebsmoden zu unterscheiden:

Der normale Betriebsfall für den optischen Hochleistungssender ist ein scharf gebündelter Sendestrahl, bei dem maximale Leistungsdichte im Fernfeld gefordert ist. Dazu sind die Phasen der einzelnen Sender genau aufeinander abzustimmen. Phasendifferenzen von  $10^\circ$  und weniger sind zu realisieren. Für den Fall der maximalen Strahlaufweitung während der Erfassungsphase muss die Phasenbeziehung zwischen den einzelnen Sub-Aperturen 39 total zerstört werden. Die Sender müssen gewissermaßen inkohärent addiert werden. Die Phase an den Modulatoren der Phasensteller 14 muss sehr schnell und unabhängig von den anderen durchmodelliert werden, so dass der Empfänger von diesen Änderungen nichts merkt. Das bedeutet, dass die Frequenz der Phasenänderungen am Sender wesentlich größer sein muss als die Bandbreite des Empfängers. Dazu können Rauschquellen oder digitale Zufallszahlengeneratoren verwendet werden. Im Spezialfall der Winkeleinstellung ist eine Phasengradient über der kompletten

Apertur erforderlich. Dadurch lassen sich entsprechend der bekannten „Phased Array“ Technik in einem begrenzten Winkelbereich Vorhalte- oder Nachführwinkel einstellen. Die erzielbare Bandbreite ist durch die Modulatoren gegeben und damit insbesondere im Vergleich zu mechanischen Lösungen sehr hoch. Der Winkelbereich beschränkt sich auf die Beugungsöffnung einer einzelnen Sub-Apertur 39.

Gemäß der erfindungsgemäßen Anlage zur optischen Übertragung von Daten zwischen Satelliten ist vorgesehen, dass wenigstens zwei erfindungsgemäße Anlagen in den Satelliten vorhanden sind.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung besteht somit darin, dass durch die Parallelschaltung der einzelnen Phasensteller und Hauptverstärker das zu übermittelnde Signal derart verstärkt wird, dass große Datenraten über sehr große Entfernungen zwischen zwei Satelliten übertragen werden können. Außerdem kann durch die Regeleinheit die Vorrichtung so eingestellt werden, dass sie sowohl als Sende- als auch Empfangsstation arbeiten kann. Ein zusätzliches Spiegelteleskop für die Empfangsstation ist nicht erforderlich.

Bezugszahlenliste

- 1 Laser-Oszillator
- 2 Elektro-optischer Modulator
- 3 Optischer Vorverstärker
- 4 Kristallverstärker
- 5 Faser
- 6 Kollimator
- 7 Sende- und Empfangsweiche
- 8 Verstellspiegel
- 9 Spiegelteleskop
- 10 Laser-Oszillator
- 11 Elektro-optischer Modulator
- 12 Vorverstärker
- 13 Leistungsteilerstufe
- 14 Phasensteller
- 15 Hauptverstärker
- 16 Faserkabelbaum (Bündel von optischen Wellenleitern)
- 17 Kollimator
- 18 Auskoppelteiler
- 19 Sende- und Empfangsweiche
- 20 Verstellerspiegel
- 21 Spiegelteleskop
- 22 Phasensteller
- 23 Optischer Verstärker
- 24 Regler
- 25 Glasfaser
- 26 Kollimator
- 27 Mischer

- 28    Photodiodenfeld
- 29    Glasfaser
- 30    Kollimator
- 31    Teleskop
- 32    Linsenanordnung
- 33    Phasenstellerbank
- 34    Glasfaserleiter
- 35    Rand an einem Primärspiegel
- 36    Streben
- 37    Spiegel
- 38    Fläche
- 39    Sub-Aperturen
- 40    Phasenregeleinheit

Vorrichtung und eine Anlage zur optischen Übertragung von Daten zwischen Satelliten

Ansprüche:

1. Vorrichtung zur Übertragung von optischen Daten zwischen Satelliten, die einen Laser-Oszillator (10) zur Erzeugung eines optischen Signals, einen Modulator (11) zur Modulierung des optischen Signals mit einer Dateninformation und eine Verstärkeranordnung, eine Kollimatoranordnung und eine Sendeeinrichtung zur Übertragung der Signale umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Vorverstärker (12) mit einer Leistungsteilerstufe (13) verbunden ist, der eine Parallelschaltung von wenigstens zwei jeweils in Reihe geschalteten Phasenstellern (14) und Hauptverstärkern (15), zur Verstärkung und Einstellung der optischen Signale, nachgeschaltet ist und die Hauptverstärker (15) über ein der Anzahl der Reihenschaltungen entsprechendes Bündel (16) von optischen Wellenleitern mit der entsprechenden Anzahl der Kollimatoren (17) verbunden sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistungsteilerstufe (13) aus einer Vielzahl von



polarisationserhaltender Wellenleiterkopplern besteht, die mit den Phasenstellern (14) verbunden sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistungsteilerstufe (13) mit Phasensteller (14) kombiniert ist und aus einem Kollimator (30), einem nachgeschalteten stark anamorphotischen Teleskop (31), einer entsprechenden Linsenanordnung (32) zur Aufteilung des optischen Signals und einer Phasenstellerbank (33) zur Zuführung des optischen Signals über den Glasfaserleiter (34) zu den Hauptverstärkern (15) besteht.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenstellerbank (33) monolithisch ausgeführt ist, wobei alle Wellenleiter mit ihren Elektroden auf einer Kristallscheibe aus Lithium-Niobat angeordnet sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenstellerbank (33) modular ausgeführt ist und aus einzelnen Modulatoren besteht.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Phasensteller (14) ein elektro-optischer Modulator ist, mit dem in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung die optische Dichte und damit die Phase verstellt wird.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektro-optische Modulator ein Wellenleitermodulator ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Phasensteller (14) eine um einen Piezokern gewickelte Glasfaser ist, bei dem die Länge der Glasfaser und damit die Phase verstellt wird.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hauptverstärker (15) ein Faserverstärker ist.
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgangspupille des Kollimators (17) durch einen Rand (35) eines Primärspiegels begrenzt wird, der über mindestens zwei Streben (36) mit einem zentral angeordneten Spiegel (37) verbunden ist, wobei in einer verfügbaren Fläche (38) mehrere Sub-Aperturen (39) angeordnet sind.
11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Kollimator (17) und dem Verstellspiegel (20) ein Auskoppelteiler (18) und eine Sende- und Empfangsweiche (19) angeordnet ist, wobei dem Verstellspiegel (20) ein Spiegelteleskop (21) nachgeschaltet ist.
12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Phasenstellern (14) eine Phasenregleinheit (40) zugeordnet ist.
13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenregleinheit (40)

aus einem in Reihenschaltung angeordneten Phasensteller (22), einem Verstärker (23) , einem Kollimator (26), einem Mischer (27), einem Photodiodenfeld (28) und einem Regler (24) besteht

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Bauelemente der Phasenregeleinheit (40) durch eine Glasfaser (25) miteinander verbunden sind.
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Eingangsanschluss des Phasenstellers (22) zur Zuführung eines Referenzstrahles zur Phasenregeleinheit (40) mit der Leistungsteilerstufe (13) und ein Ausgangsanschluss des Phasenstellers (22) mit den jeweiligen Phasenstellern (14) zur Einstellung des optischen Signals verbunden sind.
16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Zuführung eines Prüfstrahls zur Phasenregeleinheit (40) der Auskoppelteiler (18) mit dem Mischer (27) verbunden ist.
17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der dem Mischer (27) zugeführte Prüfstrahl ca. 1% des Sendestrahls entspricht.
18. Anlage zur Übertragung von optischen Daten zwischen Satelliten, **gekennzeichnet durch** wenigstens zwei Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenregeleinheit (40), die Phasendifferenz zwischen den Kollimatoren (17) und damit auch zwischen den Sub-Aperturen (39) konstant hält
20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenregeleinheit die Phasendifferenz zwischen den Kollimatoren (17) und damit zwischen den Sub-Aperturen (39) zu Null macht
21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenregeleinheit (40) eine quasi zufällige Phasendifferenz mit hoher Frequenz einstellt

1/2

Fig. 1

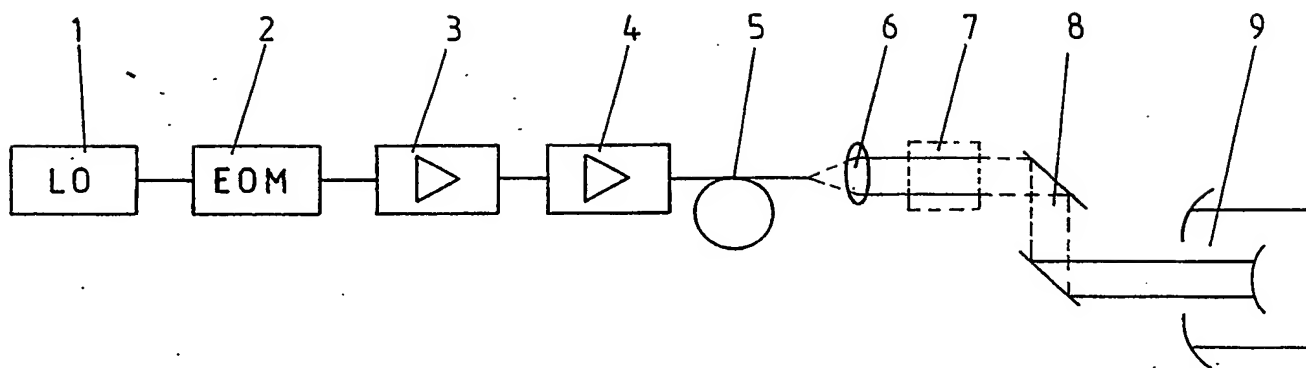
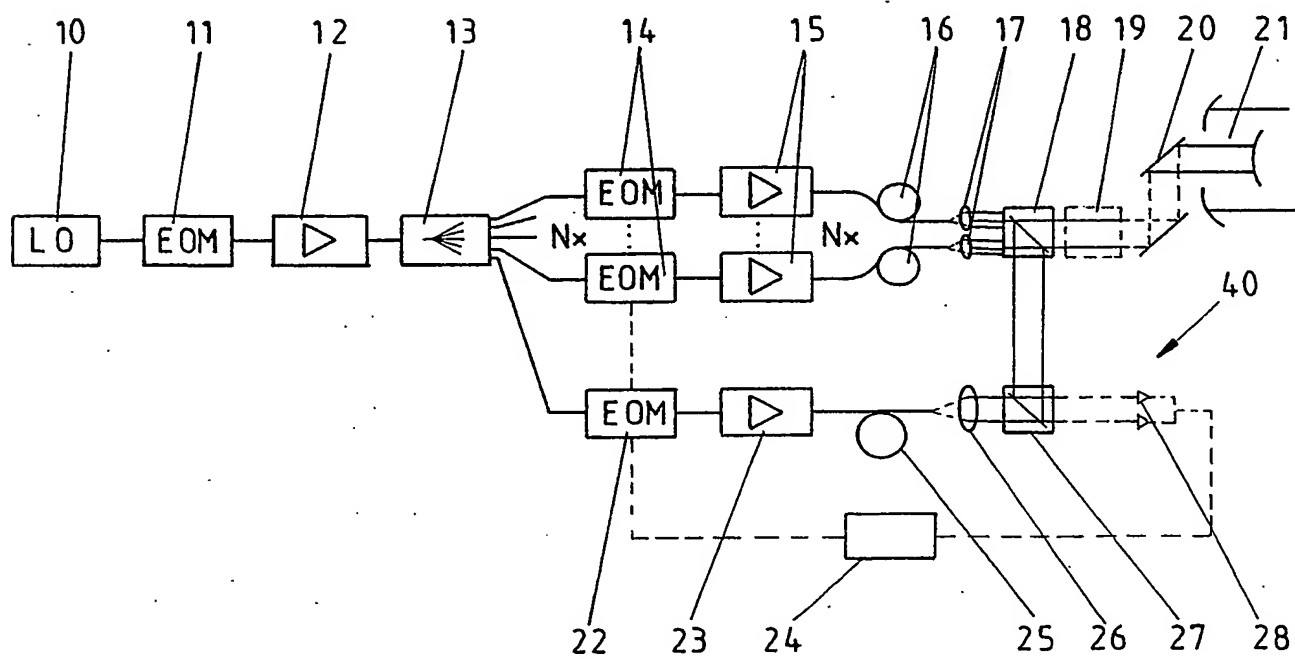


Fig. 2



2 / 2

Fig.3

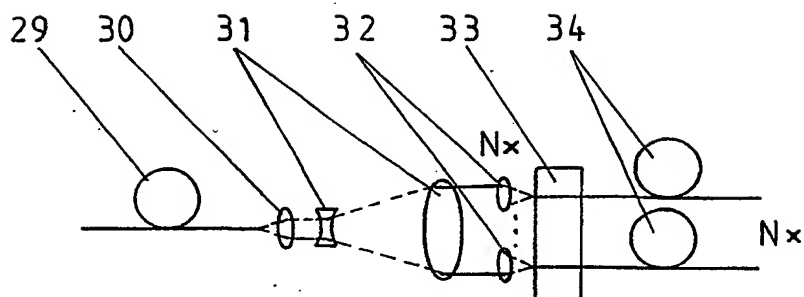


Fig. 4

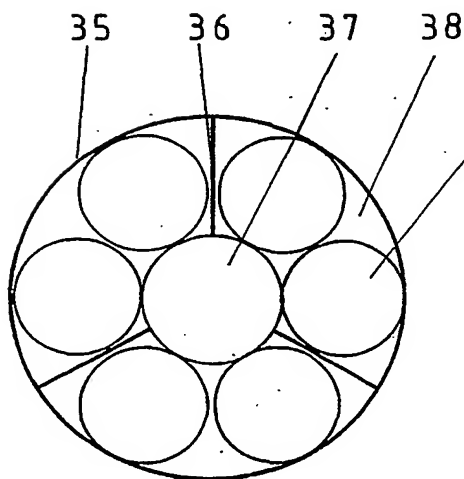
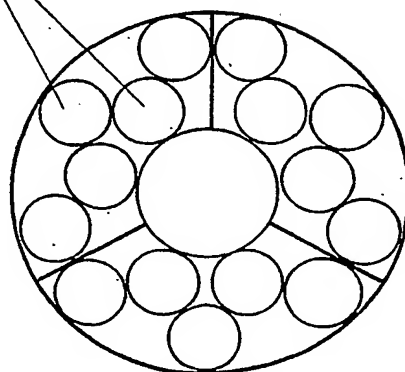


Fig. 5



(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. Oktober 2002 (24.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/084902 A3

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H04B 10/105

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/01383

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HILDEBRAND, Ulrich [DE/DE]; Dahlienweg 2, 70736 Fellbach (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
12. April 2002 (12.04.2002)

(74) Anwälte: SCHUSTER, Gregor usw.; Wiederholdstr. 10, 70174 Stuttgart (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
101 18 335.6 12. April 2001 (12.04.2001) DE

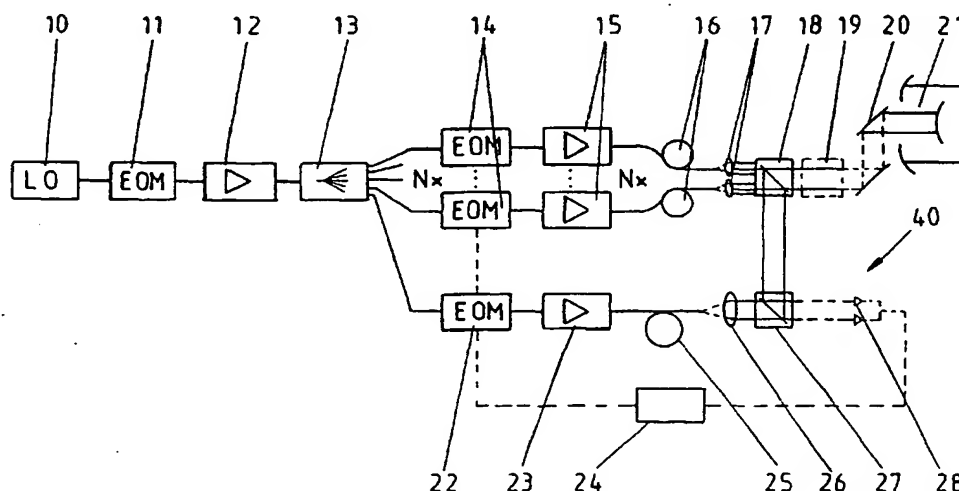
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): TESAT-SPACECOM GMBH & CO. KG [DE/DE]; 71501 Backnang (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND SYSTEM FOR THE OPTICAL TRANSMISSION OF DATA BETWEEN SATELLITES

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND EINE ANLAGE ZUR OPTISCHEN ÜBERTRANGUNG VON DATEN ZWISCHEN SATELLITEN



(57) Abstract: The invention relates to a device and a system for the optical transmission of data between satellites. Said device comprises a laser oscillator (10) for producing an optical signal, a modulator (11) for modulating the optical signal with data information, an amplifying unit, a collimator unit, and a transmission unit for transmitting the signals. According to the invention, a pre-amplifier (12) is connected to a power dividing stage (13). A parallel circuit of at least two phase regulators (14) and two main amplifiers (15) connected in series, for amplifying and regulating the optical signals, is connected downstream from said power dividing stage. The main amplifiers (15) are connected to the corresponding number of collimators (17) by means of a bundle of optical waveguides which corresponds to the number of connections in series.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/084902 A3



eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen  
Recherchenberichts:

9. Januar 2003

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und eine Anlage zur Übertragung von optischen Daten zwischen Satelliten, die einen Laser-Oszillator (10) zur Erzeugung eines optischen Signals, einen Modulator (11) zur Modulierung des optischen Signals mit einer Dateninformation und eine Verstärkeranordnung, eine Kollimatoranordnung und eine Sendeeinrichtung zur Übertragung der Signale umfasst. Es ist vorgesehen, dass ein Vorverstärker (12) mit einer Leistungsteilerstufe (13) verbunden ist, der eine Parallelschaltung von wenigstens zwei jeweils in Reihe geschalteten Phasenstellern (14) und Hauptverstärkern (15), zur Verstärkung und Einstellung der optischen Signale, nachgeschaltet ist und die Hauptverstärker (15) über ein der Anzahl der Reihenschaltung entsprechendes Bündel (16) von optischen Wellenleitungen mit der entsprechenden Anzahl der Kollimatoren (17) verbunden sind.



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interr Application No  
PCT/DE 02/01383

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H04B10/105

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 536 922 A (ITO MICHIAKI) 27 October 1970 (1970-10-27) abstract; figure 2	1-21
A	US 3 764 213 A (O MEARA T) 9 October 1973 (1973-10-09) abstract; figure 6	1-21
A	ESKILDSEN L ET AL: "Optical amplifiers for WDM systems and networks" MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 1994. MILCOM '94. CONFERENCE RECORD, 1994 IEEE FORT MONMOUTH, NJ, USA 2-5 OCT. 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 2 October 1994 (1994-10-02), pages 350-356, XP010149867 ISBN: 0-7803-1828-5 abstract; figure 5	1-21
	--- -/-- ---	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 October 2002

Date of mailing of the international search report

13/11/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Phillips, S

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: Application No  
PCT/DE 02/01383

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 016 219 A (FATEHI MOHAMMAD T ET AL) 18 January 2000 (2000-01-18) abstract; figure 4	1-21
A	US 5 940 045 A (BELCHER DONALD K ET AL) 17 August 1999 (1999-08-17) abstract; figure 1	1-21

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern: Application No

PCT/DE 02/01383

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3536922	A	27-10-1970	NONE	
US 3764213	A	09-10-1973	DE 2321118 A1	22-11-1973
			FR 2183920 A1	21-12-1973
			GB 1362155 A	30-07-1974
			IL 42054 A	25-06-1975
			IT 984914 B	20-11-1974
			JP 49049556 A	14-05-1974
			JP 56030980 B	18-07-1981
			SE 388700 B	11-10-1976
US 6016219	A	18-01-2000	US 5889610 A	30-03-1999
			CA 2220266 A1	30-06-1998
			EP 0851704 A2	01-07-1998
			JP 10209966 A	07-08-1998
US 5940045	A	17-08-1999	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Interns : Aktenzeichen  
PCT/DE 02/01383

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3536922	A	27-10-1970	KEINE	
US 3764213	A	09-10-1973	DE 2321118 A1	22-11-1973
			FR 2183920 A1	21-12-1973
			GB 1362155 A	30-07-1974
			IL 42054 A	25-06-1975
			IT 984914 B	20-11-1974
			JP 49049556 A	14-05-1974
			JP 56030980 B	18-07-1981
			SE 388700 B	11-10-1976
US 6016219	A	18-01-2000	US 5889610 A	30-03-1999
			CA 2220266 A1	30-06-1998
			EP 0851704 A2	01-07-1998
			JP 10209966 A	07-08-1998
US 5940045	A	17-08-1999	KEINE	